

Document Summary



New
Search



Help

[Preview Claims](#)

[Preview Full Text](#)

[Preview Full Image](#)

Email Link: 

Document ID: JP 08-237224 A2

Title: DYNAMICALLY CONTROLLED POLARIZED MODULATION IN WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXED TRANSMISSION SYSTEM

Assignee: AT & T CORP

Inventor: BERGANO NEAL S
DAVIDSON CARL R

US Class:

Int'l Class: H04J 14/00 A; H04J 14/02 B; H04B 10/152 B; H04B 10/142 B; H04B 10/04 B; H04B 10/06 B; H04B 10/02 B; H04B 10/18 B

Issue Date: 09/13/1996

Filing Date: 12/14/1995

Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To attain a polarized modulation method in a wavelength division multiplexed transmission system capable of reducing hole burning depending on polarization simultaneously as reducing mixture of four waves.

SOLUTION: An optical signal is provided with plural signals, an average value of states of polarization of the optical signals on each modulation cycle is substantially equal to zero and directions of the states of polarization of predetermined optical channels of the optical signals are determined by responding to a signal displaying predetermined characteristics of the transmission system while holding the average value of the states of polarization of the optical signals on each modulation cycle. The mixture of four waves between multiplexed channels in the wavelength division multiplexed optical transmission system 190 and an effect of the hole burning depending on the polarization are simultaneously reduced by a method and a device for modulating the states of polarization of the optical signals.

(C)1996,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-237224

(43) 公開日 平成8年(1996)9月13日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 J 14/00			H 0 4 B 9/00	E
14/02				L
H 0 4 B 10/152				M
10/142				
10/04				

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平7-325288

(22) 出願日 平成7年(1995)12月14日

(31) 優先権主張番号 08/355788

(32) 優先日 1994年12月14日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 390035493

エイ・ティ・アンド・ティ・コーポレーション

AT&T CORP.

アメリカ合衆国 10013-2412 ニューヨーク
ニューヨーク アヴェニュー オフ
ジ アメリカズ 32

(72) 発明者 ニール エス. バーガノ

アメリカ合衆国 07738 ニュージャージー,
リンクロフト, ハーヴェイ アヴェニュー 11

(74) 代理人 弁理士 岡部 正夫 (外2名)

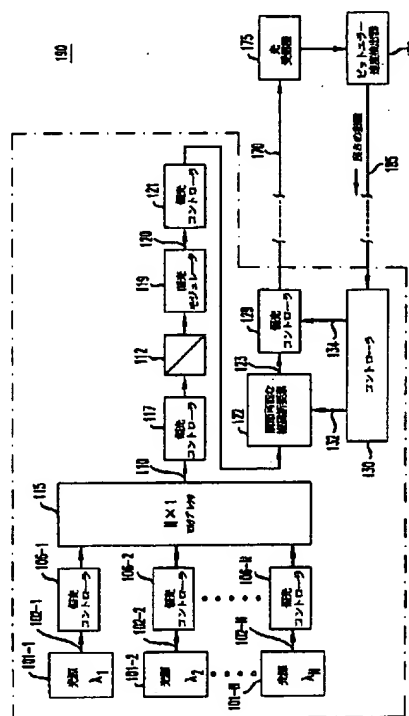
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長分割多重化された送信システムにおける動的に制御された偏光変調

(57) 【要約】

【課題】 四波混合を減少しつつ同時に偏光-依存のホールバーニングを減少することができる波長分割多重化された送信システムにおける偏光変調方法を提供する。

【解決手段】 光信号が複数のチャンネルを有し、各変調サイクル上の光信号の偏光の状態の平均値が実質的にゼロに等しく、および各変調サイクル上の光信号の偏光の状態の平均値を実質的にゼロに維持しながら光信号の予め定められた光チャンネルの偏光の状態を送信システムの予め定められた特性を表示する信号にตอบสนองして方向を定める、本発明による、光信号の偏光の状態を変調するための方法と装置によって、波長分割多重化された光送信システムにおける多重化されたチャンネル間の四波混合、および偏光依存のホールバーニングの効果が同時に減少することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光送信システムで使用方法において、
光信号の偏光の状態を変調し、前記光信号は複数の光チャネルを有し、各変調サイクル上の前記光信号の前記偏光の状態の平均値が実質的にゼロに等しいステップ、および各変調サイクル上の前記光信号の前記偏光の状態の前記実質的にゼロの平均値を維持しながら、前記光信号の予め決定された光チャネルの偏光の状態を前記光送信システムの予め決定された特性を示す信号にตอบสนองして方向を定めるステップからなる方法。

【請求項 2】 前記予め定められた特性が信号対ノイズ比である請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】 前記予め定められた特性が Q ファクターである請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】 前記複数の光チャネルが波長分割多重化された光チャネルである請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】 前記光信号の前記少なくとも 1 つのチャネルおよび前記光信号の少なくとも 1 つの他のチャネルが実質的に同じ光パワーである請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】 前記複数の波長分割多重化された光チャネルが複数の光源により生成される請求項 4 記載の方法。

【請求項 7】 前記光源の少なくとも 1 つがレーザからなる請求項 6 記載の方法。

【請求項 8】 前記レーザが波長調整可能なレーザからなる請求項 7 記載の方法。

【請求項 9】 前記レーザが連続的な光信号を発生する請求項 7 記載の方法。

【請求項 10】 予め定められた周波数において前記波長分割多重化された光信号の少なくとも 1 つ上にデータを変調するステップをさらに含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 11】 前記偏光の状態を変調することが前記予め定められた周波数に位相同期されて実質的に等しい周波数において変調するステップを含んで各変調サイクル上の前記偏光の状態が実質的にゼロに等しい請求項 10 記載の方法。

【請求項 12】 前記光信号に与えられた偏光変調の位相を選択的に変えるステップをさらに含む請求項 11 記載の方法。

【請求項 13】 前記光信号に実質的に偏光変調を与えないで前記光信号を選択的に位相変調するステップをさらに含む請求項 10 記載の方法。

【請求項 14】 前記選択的に位相変調するステップがデータが変調された前記予め定められた周波数に等しい周波数において前記光信号を選択的に位相変調するステップを含む請求項 13 記載の方法。

【請求項 15】 前記選択的に位相変調するステップがデータが変調された前記予め定められた周波数に等しい周波数において前記光信号を選択的に位相変調するステ

ップを含む請求項 13 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は情報の光送信技術に関するものである。より詳しくは、本発明は波長分割多重化された送信システムにおける偏光変調に関するものである。

【0002】

【発明が解決しようとする課題】波長一分割多重化の技術は、その一部において、このような多重化が提供する広い帯域幅容量により水中および大陸間の地球上の光送信システムにおいて益々利用されることが期待されている。残念なことには、波長分割多重化された送信システムは、このような送信システムにおいて典型的に使用されているエルビウムがドープされたファイバ増幅器における偏光一依存のホールバーニングのような偏光依存の効果、および多重化されたチャネル間のクロストークによってその性能が制限されてしまう偏光依存のホールバーニングはエルビウムがドープされたファイバ増幅器の母集団反転動作 (population inversion dynamics) に関連している。クロストークは主に光送信ファイバの非線形の屈折率により生じる。四波混合 (four-wave mixing) はクロストークを生じる有害な顕著な効果の 1 つである。多重化に関連した問題を増大化するのは、環境条件における変化や他の要因のために、上記した性能制限効果を時間とともに変化させる影響を与えるいくつかのシステムのパラメータの傾向である。したがって、四波混合を減少しつつ同時に偏光一依存のホールバーニングを減少することは、波長分割多重化された光送信システムにおいて望ましい。さらに、変化する状況下においてこのような同時的な減少を達成することが特に望ましい。

【0003】

【課題を解決するための手段】光信号が複数のチャネルを有し、各変調サイクル上の光信号の偏光の状態 (state of polarization) の平均値が実質的にゼロに等しく、および各変調サイクル上の光信号の偏光の状態の平均値を実質的にゼロに維持しながら光信号の予め定められた光チャネルの偏光の状態を送信システムの予め定められた特性を表示する信号にตอบสนองして方向を定める、本発明による、光信号の偏光の状態を変調するための方法と装置によって、波長分割多重化された光送信システムにおける多重化されたチャネル間の四波混合、および偏光依存のホールバーニングの効果が同時に減少することができる。好ましいことには、この技術は変化する条件下において性能制限効果を減少することができる。

【0004】

【発明の実施の形態】図 1 は本発明を実施する要素の例示的な構成の簡略化されたブロックダイアグラムであ

る。図示されているのは光送信機100、光送信経路170、光受信機175、ビット速度エラー検出機178、並びに遠隔測定経路185である。光送信機100は複数の光チャネルを生成するための複数の光源101、複数の偏光コントローラ106、117、121、および129、 $N \times 1$ マルチプレクサ115、偏光フィルタ112、偏光モジュレータ119、コントローラ130、並びに、調節可能な複屈折要素122である。ここで、まず始めに、本明細書において使用する「チャネル」の用語は特異な波長により規定される光学的な現象を指すものとする。よって、チャネルの用語は、各要素が異なる波長を有する、複数の要素を持つ波長分割多重化された光信号の成分を意味するものである。さらに、本明細書で使用したように、チャネルの用語は単色の光信号を指す。光送信機100を形成する上記でリストした要素は、例えば、必要ならば偏光を維持する光ファイバを含む、光ファイバを含む、従来の手段を使用して接続される。光送信機100は、図示したように、光送信システム190を形成するために光送信経路170および光受信機175に接続される。光送信システム190は、例えば、図示したような単方向性のシステム、あるいは反対方向の通信を行うための別の光送信機と受信機（図示せず）を使用した双方向性のシステムである。光送信経路と光受信機は公知のものである。光受信機175は受信した光信号におけるビットエラーの速度を検出するビットエラー速度検出機178に接続されている。ビットエラー速度検出機の機能は光学的に光受信機175内に直接組み込むこともできる。ビットエラー速度は光学的な信号対ノイズ比、Qファクター、あるいは送信システム190の全体の性能あるいは1つまたはそれより多くの選択された光チャネルの性能の指標を提供する公知の良さの指数を決定するために使用される。この例示的な例に置いては、 N 光チャネルの平均を表すQファクターが性能指示として使用される、Qファクターは、例えば、Neal S. Bergano、F. W. Kerfoot、C. R. Davidsonによる「Margin Measurements in Optical Amplifier Systems」、IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 5, No3, 1993年3月、pp304-306に記載されている。Qファクターを表す信号は遠隔測定経路185を経て光送信機100内のコントローラ130に戻される。遠隔測定経路は、分離した経路、あるいは例えばデータまたは反対方向に送信されるSOFNETフレームのような信号フレーム内におけるオーバーヘッドビットを使用した送信経路170の一部である。分離した経路が望ましい場合には、例えば、電話線のような呼線チャネルまたは分離したチャネルが利用される。本発明では、調節可能な複屈折要素122および偏光コントローラ129を動的に

制御するために、光送信機100内のコントローラ130による受信されたQファクターが使用される。このような動的制御スキームは以下に説明する。

【0005】光送信機100においては、それぞれ図示したような異なる波長 λ_1 、 λ_2 、 \dots 、 λ_N を有する複数の連続的な波の光信号を発生し、よって複数の N の光チャネル102-1、102-2 \dots 102- N を規定するために、例えば、波長同調可能な半導体レーザのような、複数の光源101-1、101-2、 \dots 、101- N が利用される。光源101は光チャネル102が実質的に同じ光パワーを有するように適合される。1つまたはそれより多くの光源101が光チャネル102が従来の技術を使用してデータソース（図示せず）により供給された情報を運搬するように適合されている。光源101により発生された光チャネル102は偏光コントローラ106を通過し、また $N \times 1$ マルチプレクサ115により受信される。偏光コントローラ106は各光チャネル102の偏光の状態（SOP）をこれらがすべて実質的に同じSOPを有するように方向を定める。当業者であれば共通のSOPsはポアンカレ球上の単一の点として表されることが理解される。ポアンカレ球は良く知られており、例えばWilliam A. ShurciffによるPolarized Light: Production and Use, Harvard University Press, 1962年に記載されている。 $N \times 1$ マルチプレクサ115は、例えば業界で公知である双方向性の光コプラである。 $N \times 1$ マルチプレクサ115の出力は、各チャネルが異なる波長 λ_1 、 λ_2 、 \dots 、 λ_N により規定される、 N チャネルを有する波長分割多重化された光信号110である。便宜上、チャネルを最も低い波長から最も高い波長まで順次1、2、 \dots 、 N と番号付けする。本発明のこの例示した例においては、以下の理由により、チャネルの波長は、例えば1nmづつ、均等に離間されている。しかしながら、本発明の他の応用においては、非均一のチャネル波長間隔とすることもできる。例えば、非均一のチャネル波長感覚は四波混合の効果を減少するのを補助することができる。

【0006】波長分割多重化された光信号110は偏光コントローラ117と偏光フィルタ112を通過した後、 $N \times 1$ マルチプレクサ115から偏光モジュレータ119を通過する。偏光モジュレータ119は波長分割多重化された光信号110のSOPを連続的に変調するように動作しこれにより偏光モジュレータ119の1つの変調サイクルに対応する時間間隔の間において1つの偏光状態になることがないようにする。よって、偏光モジュレータ119から出力された偏光変調された波長分割多重化された光信号120は実質的に変調されることがなく、つまり変調時間間隔上のそのSOPの平均値は実質的にゼロとなる。好適なことには、このような偏光変調は偏光依存のホールバーニングの否定的な効果を顕

著に減少することができる。1つの変調サイクルにおいては、偏光モジュレータ119は波長分割多重化された光信号110のSOPを変調してポアンカレ球上の完全な大円をトレースする。あるいは、SOPはポアンカレ球上の軌道の回りを完全な大円をトレースすることなく往復する。特定の選択された軌道にかかわらず、変調サイクル上のSOPの平均値がゼロに等しいことが重要である。偏光変調は公知であり、また偏光「スクランブラーズ (scramblers)」とも呼ばれている。この例示的な実施の形態では、偏光モジュレータ119は米国特許第5、327、511号に開示された形式のもの（当該特許の第3図を特に参照）を想定しており、この開示を本明細書中に参考として組み入れる。当業者はこの例示的な実施の形態において偏光モジュレータ119は偏光一依存デバイスであり、また他の公知な偏光モジュレータであることが理解されるものである。よって、本発明のいくつかの応用においては偏光モジュレータ115への強力に偏光された入力信号を利用することが望ましい。したがって、図1は偏光モジュレータ115への入力において配置された偏光フィルタ112を示したものである。偏光フィルタは公知である。偏光コントローラ117は偏光フィルタ112へ送信される信号パワーが最大化するために波長分割多重化された信号110のSOPを方向を定めるために利用される。ここで、偏光フィルタ112と偏光コントローラ117は本発明を実施するためには必須ではなく、よって任意的なものである。あるいは、偏光フィルタ112の機能を偏光モジュレータ119内に直接組み込む構成としても良い。

【0007】偏光モジュレータ119からの出力である偏光変調され波長分割多重化された光信号120は偏光コントローラ121を経て調節可能な複屈折要素122を通る。偏光コントローラと調節可能な複屈折要素は公知である。偏光コントローラ121は、例えば、1980年のIEEE Electronics Letters, Vol. 16、778頁においてH. C. Lefevreにより説明されたLefevre式の偏光コントローラである。調節可能な複屈折デバイス122はその高速軸と低速軸の間の調節可能な伝播遅延差を有するように選択され、これにより選択された複屈折の量を可変とすることができる。調節可能な複屈折要素は公知である。調節可能な複屈折要素122は、例えば、Babinet-Soleil補償板である。偏光コントローラ121は偏光一変調され波長多重化された光信号120の大円偏光変調軌道を調節可能な複屈折要素122の高速軸と低速軸を結合するポアンカレ球上の線に垂直な面内に位置するために利用される。本発明によれば、調節可能な複屈折要素122は、偏光変調され波長分割多重化された光信号120内の光チャンネルのSOPsを選択された複屈折の量にしたがって相互に変化できるよう

にする。図2は調節可能な複屈折要素から発生した偏光変調され波長分割多重化された光信号123における光チャンネルのSOPsがポアンカレ球上の大円軌道に沿って分割される方法を示したものである。本発明を非限定的に明確化するために、4つの例示的な光チャンネルに対するSOPsだけが示されており、つまり図2では $N=4$ である。偏光変調され波長分割多重化された光信号120における光チャンネルのSOPsの分離は、分離角 α_{ij} により便宜的に説明され、 i と j は隣り合う波長を有する光チャンネルを識別するための添字である。調節可能な複屈折要素は全体の複屈折、およびコントローラ130からの制御信号132に応答して、分離角 α_{ij} を動的に調節する。当業者であれば、この例示的な例においては分離角 α_{ij} は均一であり、つまり上記の均一なチャンネル波長間隔により、 $\alpha_{1,2} = \alpha_{2,3} = \alpha_{N-1,N}$ であることが判る。いくつかの用途においては、分離角 α_{ij} を、例えば、約 180° に選択することが望ましく、これにより奇数ないし偶数の番号が付けられた光信号は発射状態 (launch state) において実質的に垂直である初期のSOPsを有する。あるいは、分離角 α_{ij} は非均一のチャンネル波長間隔が利用された場合には非均一とされる。また、本発明のいくつかの用途においては均一と非均一の分離角 α_{ij} の組み合わせを利用することが望ましい場合もある。この例示的な実施の形態では、選択された値によらず、複数の N の異なる光チャンネルに対する光受信機175において計測されたQファクターを最大化するために平均の分離角 α (バー) $_{ij}$ 動的に調節される。したがって、所定の瞬間における実際の分離角 α_{ij} は初期に選択された値から変化する。当業者であれば、光送信システム190において発生することができる四波混合生成物は上記した参照した分離角 α_{ij} の動的制御により減少することができる。図1を参照して、調節可能な複屈折要素122から発生する偏光変調され波長分割多重化された光信号123は偏光コントローラ129により受信されこれは偏光変調され波長分割多重化された光信号123のSOPの発射の向きを光送信経路170内にセットするように動作する。偏光モジュレータ129はビットエラー速度検出器178による計測された光受信機175におけるQファクターをさらに最大化するためにコントローラ130からの制御信号134におうとうして発射されたSOPを動的に調節する。本発明の原理によれば、SOP分離および発射むきの動的な制御に加えて、全ての光チャンネルは上記したように大円偏光軌道の回りを同時に移動し、これにより波長分割多重化された光信号123のSOPの平均値が実質的にゼロに維持される。よって、本発明の原理によれば、偏光一依存のホールバーニングと四波混合の効果を光送信システムにおいて同時に且つ顕著に減少することができる。この性能改善は変化する環境あるいは光送信システム190における偏光一依存ホールバーニングおよび

四波混合に影響を及ぼす他のファクター下でも実現することができる。

【0008】この例示的な実施の形態では、コントローラ130はビットエラー速度検出器178により計測された光受信機175におけるQファクターを最大化するために、2つのパラメータである平均分離角 α （パー） α_{ij} と発射SOPを動的に制御する。ここで、しかしながら、1つだけあるいは他のパラメータの動的な制御も本発明の範囲に含まれるものである。コントローラ130により使用される制御技術は、例えば、計測されたQファクターの最大値が得られるまで、分離角 α_{ij} 、および発射SOPを順次調節する簡単で有効なスキームである。あるいは、これらのパラメータが開始点から正および負の量で変化するディザリング技術が採用され、また得られたQファクターがビットエラー速度検出器178により計測される。パラメータの最終的な位置は計測されたQファクターを最大とするものである。当業者であれば信号のSOPがベクトル量であるのでこのようなディザリング技術は2つの自由度で考慮しなければならないことが判る。図3と図4はポアンカレ球を使用したディザリング技術の一例を図式的に示したものである。図3において、開始SOPはベクトル302により表されている。ディザ軌道303はポアンカレ球上の円としての開始SOPの回りに描かれ、ベクトル302の端点がその中心である。偏光コントローラ129はSOPが環状のディザ軌道303の回りに摂動するように調節される。ディザ軌道303から予め定められた数の等点において、受信した信号のQファクターが計測される。初期の条件のベクトル302は次いで、図4に示したように、最良のQファクターにおいて得られたディザ軌道303上のSOPを表すベクトル404に置き換えられる。新しい環状のディザ軌道405が次いでベクトル404の端点をその中心として使用して描かれ、上記のプロセスが繰り返される。

【0009】図5は本発明による要素の第2の例示的な実施の形態の構成を示した単純化されたブロックダイアグラムを示したものである。図示されたのは光送信機5

00、光送信経路570、光受信機575、ビット速度エラー検出機578、並びに遠隔測定経路585である。光送信機500、光受信機575、ビットエラー速度検出器578、並びに遠隔測定経路585は図1に示した対応する要素を形態および機能が同様である。光送信機500は複数の光チャネル502を生成するための複数の光源501、複数の偏光モジュレータ510、複数の偏光コントローラ514と540、 $N \times 1$ マルチプレクサ515、並びに、偏光変調コントローラ520を含んでいる。これらの要素は従来の手段を、例えば必要ならば偏光を維持する光ファイバを含む、光ファイバを使用して接続される。光送信機500は、図示したように、光送信システム590を形成するために光送信経路570および光受信機575に接続される。この例示的な実施の形態では、偏光変調コントローラ520は、先の実施の形態と同様に、遠隔測定経路585上のビットエラー速度検出器578からの、Qファクターを表す信号に応答して、先に例示した実施の形態と同様に、光チャネル502の偏光変調を動的に制御する。偏光変調コントローラは、図示したように、偏光モジュレータ540を選択的に動的に制御する構成とすることができる。

【0010】複数の光源501-1、502-2、...501-Nは、図示したように、それぞれ異なる波長、 λ_1 、 λ_2 、... λ_N を有する複数の光信号を発生し、これにより複数のNの光チャネル501-1、501-2、...502-Nを規定する。光源501は光チャネル502が実質的に同じ光パワーを有するように適合される。この例示的な例では、各光チャネル502は個々の偏光モジュレータ510と個々の偏光コントローラ514を通過する。偏光モジュレータ510-1、510-2、...510-Nは、偏光変調コントローラ520により発生された、偏光変調制御信号 β_1 、 β_2 、... β_N に応答して、それぞれ光チャネル502-1、502-2、...502-NのSOPsを変調する。偏光変調制御信号 β_1 、 β_2 、... β_N は、例えば、以下で示された正弦波状の信号である。

【数1】

$$\beta_i(t) = A_i e^{j\omega t + \delta_i} \quad i=1,2,\dots,N \quad (1)$$

ここで、 ω は偏光変調周波数であり、 δ は相対的な位相である。この例示的な例では、 ω は一定であり、また $\omega_1 = \omega_2 = \omega_N = \omega$ であり、 δ と A は変数である。例えば、振幅 A は光チャネルのSOPsの平均値が実質的にゼロに等しいように調節される。図1と同様な方法により、偏光モジュレータ510はSOP光信号502を連続的に変調して偏光モジュレータ510の1つの変調サイクルに対応する時間間隔の間において1つの偏光状態になることがないようにする。よって、偏光モジュレータ510から出力された光チャネル502は実質的に変調されることがなく、つまり変調時間間隔上のSOPの

平均値は実質的にゼロとなる。さらに、これにより $N \times 1$ マルチプレクサ515からの波長分割多重化された光信号523が実質的にゼロの平均値のSOPを持つようになる。1つの変調サイクルにおいて、各偏光モジュレータ510は光チャネル502のSOPを変調してポアンカレ球上の完全な大円をトレースする。あるいは、SOPはポアンカレ球上の軌道の回りを完全な大円をトレースすることなく往復する。また、特定の選択された軌道にかかわらず、変調サイクル上の光チャネル502のSOPの平均値がゼロに等しいことが重要である。偏光モジュレータ510から出た偏光変調された光チャネル

511は $N \times 1$ マルチプレクサ515により受信されて単一の波長分割多重化された光信号523に結合される。

【0011】上記した偏光変調により各光チャネル502のSOPの平均値が各変調サイクル上で実質的にゼロに等しくなる。よって、波長分割多重化された光信号523のSOPの平均値は同様に各サイクル上で実質的にゼロに等しくなる。偏光変調コントローラ520の下で式(1)において変調周波数駆動信号 β_1 の相対的な位相 δ_1 を選択的に変えることにより、また偏光コントローラ514を調節することにより、偏光変調された光チャネル511の全てのSOPsが図2に示したような同様な構成においてポアンカレ球上のある特定の大円軌道に沿って分離される。本発明のいくつかの用途においては、特定の大円を偏光モジュレータ510により利用されたのと同じ大円に選択することが好ましい。あるいは、SOPsは独立、つまりポアンカレ球上の同じ大円を共有しないようにすることもできる。当業者には偏光コントローラ514が本発明のこの例示的な例において偏光モジュレータ510から出た光チャネル511のSOPsの方向を同じ大円軌道内に決めるために利用されることが判る。先の実施の形態と同様に、隣り合う波長を有する光信号のSOPsの間の分離は図2に示したようにポアンカレ球上の分離角 α_{ij} により便宜上示されている。本発明の原理によれば、偏光モジュレータ510は偏光変調コントローラ520からの変調信号駆動信号 β_1 にตอบสนองして、変調周波数駆動信号 δ_1 の相対的な位相および分離角 α_{ij} を動的に調整する。初期の分離角 α_{ij} は、例えば約 180° であり、奇数番号付けされたチャネルは偶数番号付けされたチャネルに実質的に垂直である。また、選択された初期の値にかかわらず、分離角 α_{ij} は光受信機575において計測されたQファクターを最大にするために動的に調節される。したがって、所定の瞬間における実際の分離角 α_{ij} は初期に選択された値から変化したものである。先の実施の形態のように、光チャネルのSOPsの上記した分離に加えて、全ての光チャネルは上記したように大円偏光変調軌道を同時に移動し、波長分割多重化された光信号523のSOPsの平均値が実質的にゼロに維持される。偏光コントローラ540は波長分割多重化された出力信号の発射方向を光送信経路585内にセットするために $N \times 1$ マルチプレクサ515の出力において利用される。ここで、偏光コントローラ540は単に偏光制御に柔軟性を与えるための付加的なものである。これは、波長分割多重化された出力信号の発射向きがそれら自身による偏光コントローラ514を使用してセットされることから明らかである。偏光コントローラ540は偏光変調コントローラ520からの制御信号にตอบสนองして発射SOP向きをセットする。偏光変調コントローラ520は図3と図4を参照して上記説明したスキームを生じさせるシーケンスあ

るいはデゼリング技術を使用して分離角 α_{ij} と発射SOPを制御する。

【0012】図6は、本発明による、例示的な構成の単純化されたブロックダイアグラムである。図示したのは光送信機600、光送信経路670、光受信機675、ビットエラー速度検出器678、並びに遠隔測定経路685である。光送信機600、光受信機675、ビットエラー速度検出器678、並びに遠隔測定経路685は図1に示した対応する要素を形態および機能が同様である。光送信機600は、図示したように、光送信システム690を形成するために光送信経路670および光受信機675に接続される。光送信機600は複数のデータソース680、複数のデータモジュレータ685、光チャネル602を生成するための複数の光源601、複数の偏光コントローラ606、617、621、および629、 $N \times 1$ マルチプレクサ615、偏光フィルタ612、偏光モジュレータ619、クロック678、位相シフタ620、コントローラ630、並びに、調節可能な複屈折要素622を含んでおる。ここで、光送信機600を形成する要素は形態、構成、並びに動作において図1に示したものと同様であるが、データソース680、データモジュレータ685、位相シフタ620およびクロック676が付加されている。これらの付加的な要素は以下に説明するように、本発明の特定の用途に有効である、データと偏光を同期するために使用される。データと偏光変調の同期については、米国特許出願第08/312848号に開示されており、この記載を本明細書中に参考として組み入れる。

【0013】データモジュレータ680はデータソース680からの光チャネル602へのデータを受信し、またクロック676により規定された周波数で光チャネル602を変調する。本発明の原理によれば、クロック676は可変な遅延線、例えば図示した位相シフタ620を経て偏光モジュレータ619を同様に駆動し、 $N \times 1$ マルチプレクサ615から出た波長分割光信号616のSOPはデータが光チャネル602に伝えられる速度と等しい速度で偏光変調される。よって、クロック676はデータ変調の速度に周波数および位相同期される偏光変調の速度となる。位相シフタは図6に示したが、他の可変の遅延線を使用することもできる。当業者には、位相シフタ620は偏光およびデータ変調の間の相対的なタイミングを調節するために利用されることが判る。代わりに、この相対的なタイミング調整は、1つの遅延線が各モジュレータ685と $N \times 1$ マルチプレクサ615の間の偏光コントローラ606の上流ないし下流側に配置された、複数の可変遅延線を使用して構成することもできる。複数の可変遅延線は同様にクロック676とデータモジュレータ685の間において、データソース680の上流ないし下流側においても利用される。上記した代わりのものにおいては、複数の光チャネル上に遅延

を導入することで、あるいは波長分割多重化された光信号上に遅延を導入することで、またはこれらの組み合わせにより、偏光と位相変調の間の相対的なタイミング調節が本発明にしたがって行われる。ここで、本発明の範囲は、全ての光チャネル、あるいは選択された光チャネル上における同期的なデータと偏光変調の性能を含むことを意図している。このような同期的な偏光とデータ変調により、低速度と高速度の偏光変調の間の略最適バランスを有し、低速度変調によるAM変調および高速度変調による帯域幅増大という有害な効果を最小とすることができる。波長分割多重化された送信機が提供される。

【0014】図7は本発明による要素の第4の例示的な実施の形態の構成を示した単純化されたブロックダイアグラムを示したものである。図示されたのは、光送信機700、光送信経路770、光受信機775、ビット速度エラー検出機778、並びに遠隔測定経路785である。光送信機700は複数のデータソース780、複数のデータモジュレータ785、複数の光チャネル702を発生する複数の光源701、複数の偏光コントローラ706、717、721、および729、N×1マルチプレクサ715、偏光フィルタ712、偏光モジュレータ719、クロック776、位相シフタ720と786、光位相モジュレータ784、コントローラ730、並びに、調節可能な複屈折要素772を含み、これらは図示したように接続される。光送信機は光送信経路770と光受信機775に接続されて光送信システム790を形成している。ビットエラー速度検出器778は光受信機775に接続されてQファクターのような良さの指数を表す信号を遠隔測定経路785を経て光送信機700に送信する。ここで、図7に示した要素は図6に示した対応する要素と同様な形態と動作のもので、光位相モジュレータ784と、例えば図示した位相シフタ786である可変遅延線を付加したものである。

【0015】この例示的な例においては、クロック776は偏光モジュレータ719と位相モジュレータ784をそれぞれ位相シフタ720と786を経て同時に駆動する。光位相モジュレータ784は波長分割多重化された光信号716の光位相を信号の偏光を変調することなしに変調する。当業者には、光位相モジュレータ784はN×1マルチプレクサ715からの波長分割多重化された光信号716に固定された量の位相シフトを与えるように適合することができることが判る。この場合、位相シフタ786は削除される。しかしながら、本発明の多くの用途においては、図示したように、位相シフタ786を使用した光変調の位相の量を選択的に変化することが好ましい。本発明によれば、余分の位相変調を導入することで、非ゼロ帰還変調のフォーマットを使用したときの波長分割多重化された送信システムの性能を悪影響を及ぼす種々の振幅エラーが減少される。クロック776が偏光モジュレータ719および位相モジュレータ

784を駆動する方法、および位相シフタ720の動作の詳細は米国特許出願第08/312848号に記載されている。ここで、位相変ちゅおき784の機能は偏光モジュレータ719に直接組み込まれ、これは本発明の幾つ化の例のいはは望ましく、この場合には位相モジュレータは削除される。

【0016】図8は本発明による要素の第4の例示的な実施の形態の構成を示した単純化されたブロックダイアグラムを示したものである。図示されたのは光送信機800、光送信経路870、光受信機875、ビット速度エラー検出機878、並びに遠隔測定経路885である。光送信機800は複数のデータソース880、複数のデータモジュレータ885、複数の光チャネル802を発生する複数の光源801、複数の偏光モジュレータ810、複数の偏光コントローラ806と840、N×1マルチプレクサ815、偏光変調コントローラ820、並びに、クロック876を含み、これらは図示したように接続される。光送信機800は光送信経路870と光受信機875に接続されて光送信システム890を形成している。ビットエラー速度検出器878は光受信機875に接続されて良さの指数（この例示的な例ではQファクター）を表す信号を遠隔測定経路885を経て光送信機800内の偏光変調コントローラ820に送信する。ここで、図8に示された要素は図5に示された要素と形態、構成、並びに動作が同じであるが、データ880、データモジュレータ885、並びに図6を参照して上記で説明したデータと偏光変調を同期するために利用されるクロック876を付加したものである。

【0017】データモジュレータ885はデータソース880から光信号802へのデータを受信し、またクロック876により決定された周波数で光チャネル802を変調する。本発明の原理によれば、クロック876は同様に偏光モジュレータ810を駆動し、光チャネル802のSOPはデータが光チャネル802に与えられるのと等しい速度で偏光変調される。この同期的なデータと偏光変調は図6で説明したのと同様な方法で実行される。ここで、当業者には、同期的なデータと偏光変調の先の例示的な例において利用された位相シフタのような可変遅延線が本例では必要でないことが判る。これは、位相遅延が偏光変調コントローラ820の制御下で偏光モジュレータ810による容易に行うことができることによる。さらに、光チャネル802間の相対的な位相が図6を参照して上記したように容易に可変とできるので、図7を参照して説明された過度の位相変調技術は同様に偏光変調コントローラ820の制御下で偏光モジュレータ810により実行できる。これに代えて、図6に示したように、可変の遅延線はデータと位相変調の間の位相調節を導入するために利用される。このような場合、位相シフタのような、可変遅延線は、各データモジュレータ885と偏光モジュレータ810の間に配置さ

れ、またクロック 876 に接続される。

【0018】以上説明した特定の技術は本発明の原理の例示のためのものであり、当業者には、請求の範囲に記載された本発明の範囲と思想を逸脱することなく種々の変更を行うことができるものである。例えば、光源により発生された波長、あるいは出力信号の振幅を制御するように構成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に従う、光送信経路、遠隔測定経路、光受信機およびビットエラー速度検出器を含む本発明の実施を容易にする例示的な素子構成の単純化されたブロックダイアグラムである。

【図2】本発明に従う、図1に示される光送信機における光チャネルのためのポアンカレ球上の大円軌道に沿った極の状態を示す図である。

【図3】本発明に従う、ディザ手法の例を図式的に示す図である。

【図4】本発明に従う、ディザ手法の例を図式的に示す図である。

【図5】本発明に従う、本発明の実施を容易にする第2の例示的な素子構成の単純化されたブロックダイアグラムである。

【図6】本発明に従う、本発明の実施を容易にする第3の例示的な素子構成の単純化されたブロックダイアグラムである。

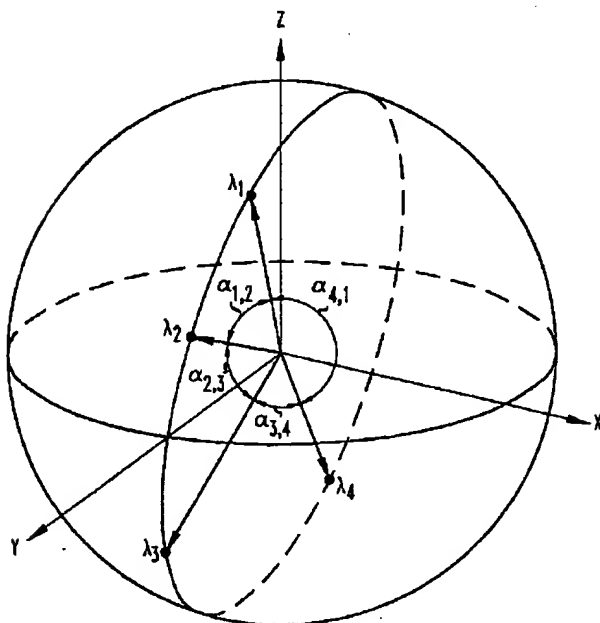
【図7】本発明に従う、本発明の実施を容易にする第4の例示的な素子構成の単純化されたブロックダイアグラムである。

【図8】本発明に従う、本発明の実施を容易にする第5の素子構成の単純化されたブロックダイアグラムである。

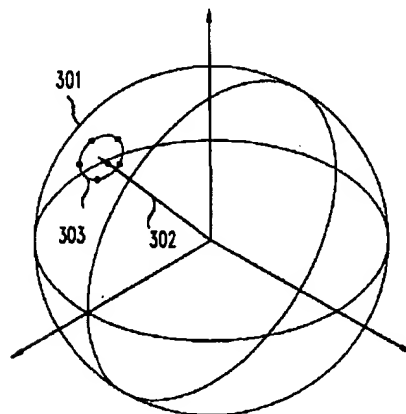
【符号の説明】

- 112 偏光フィルタ
- 170 光送信経路
- 301 ポアンカレ球
- 302、404 ベクトル
- 303、405 ディザ軌道

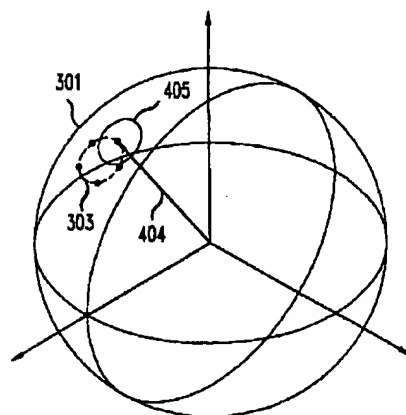
【図2】



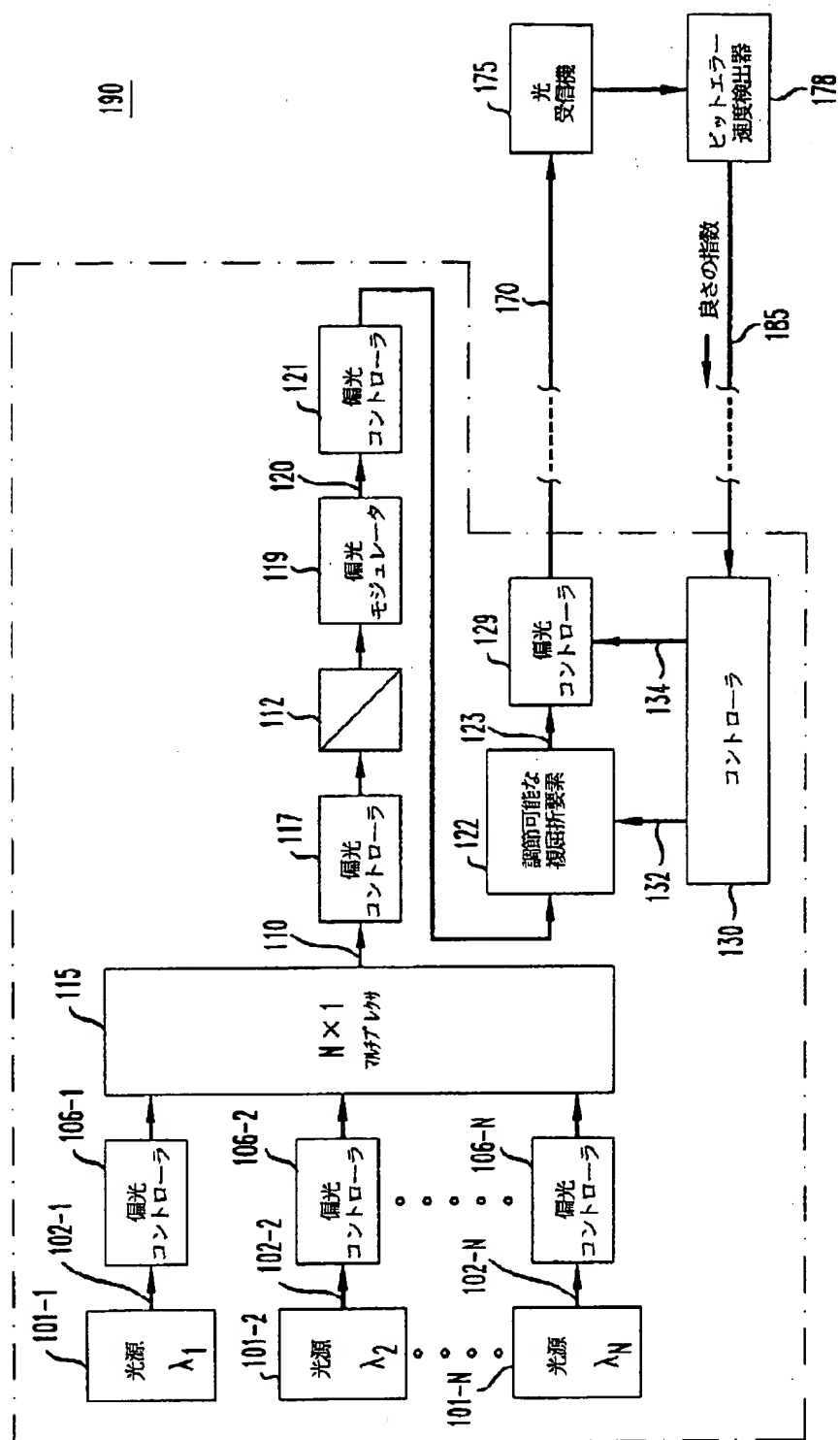
【図3】



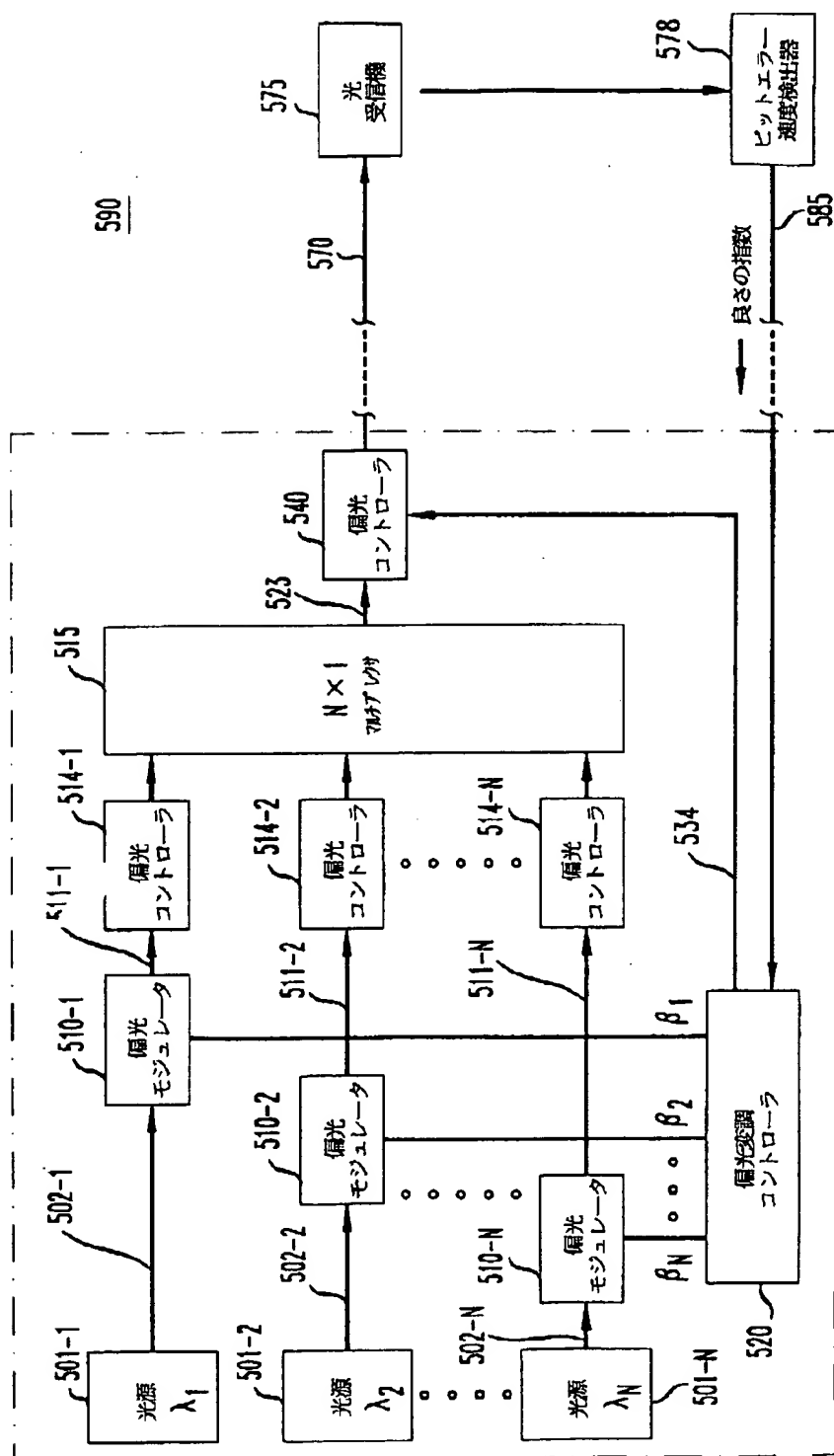
【図4】



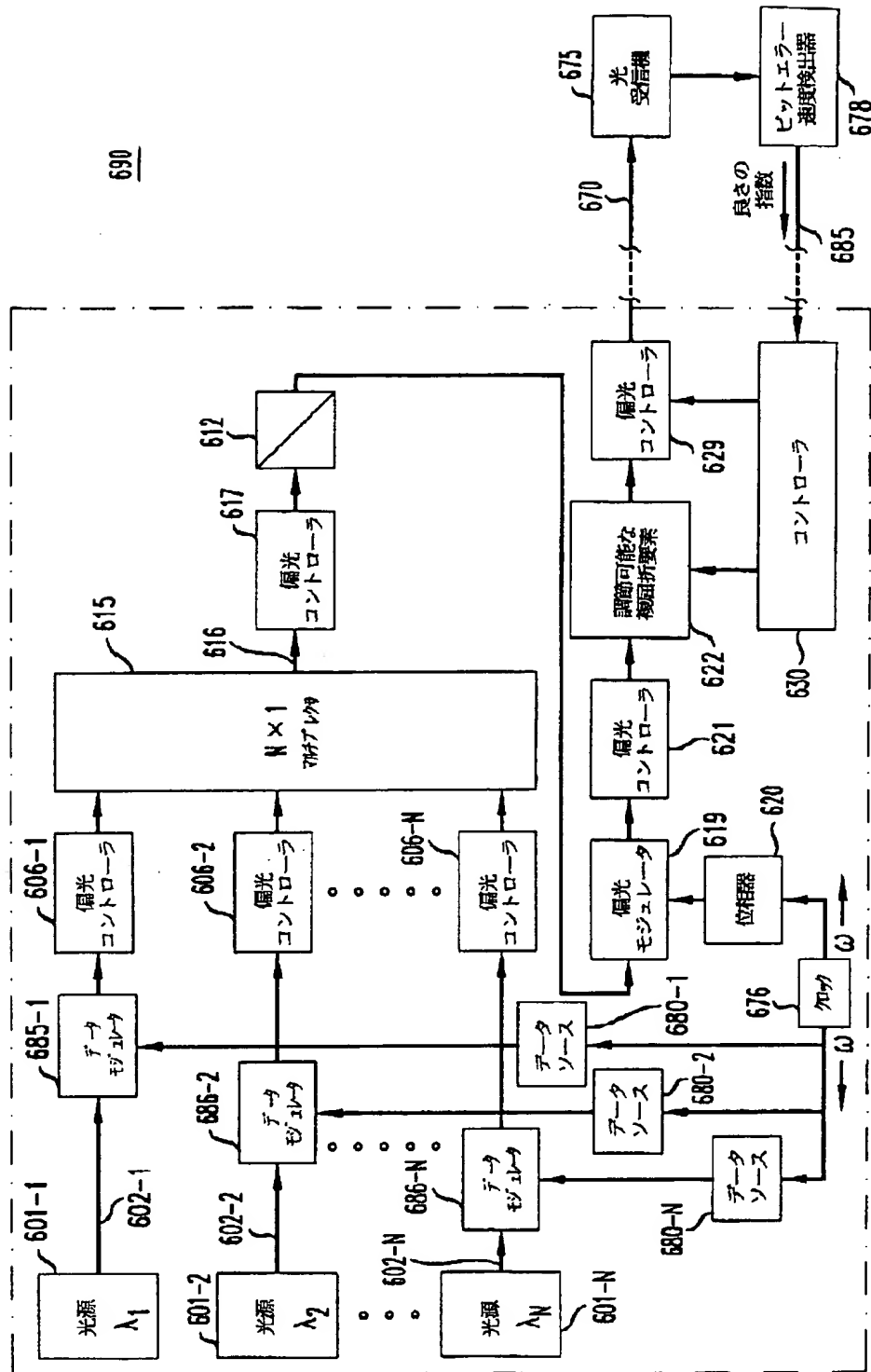
-9-



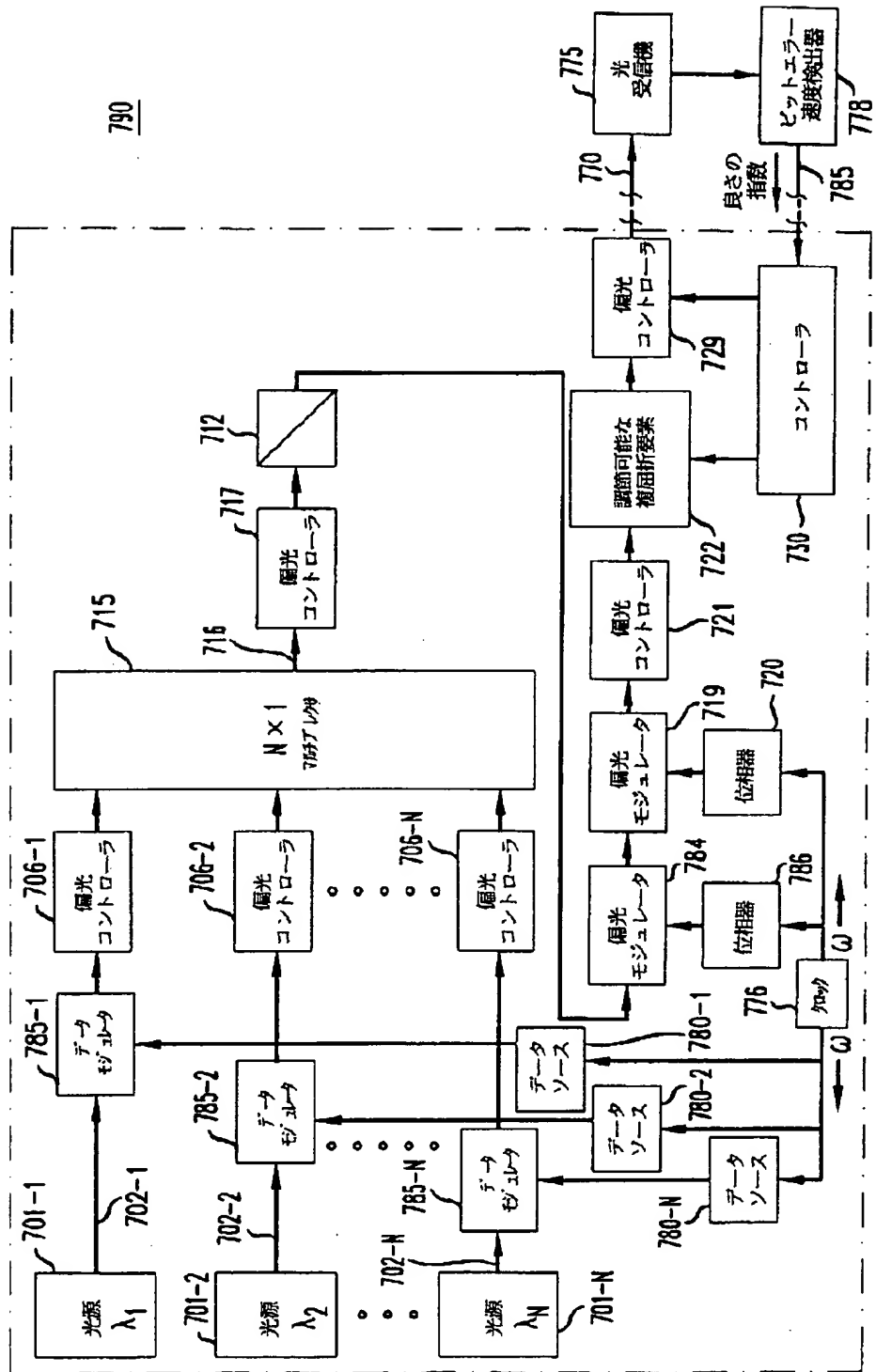
【図5】



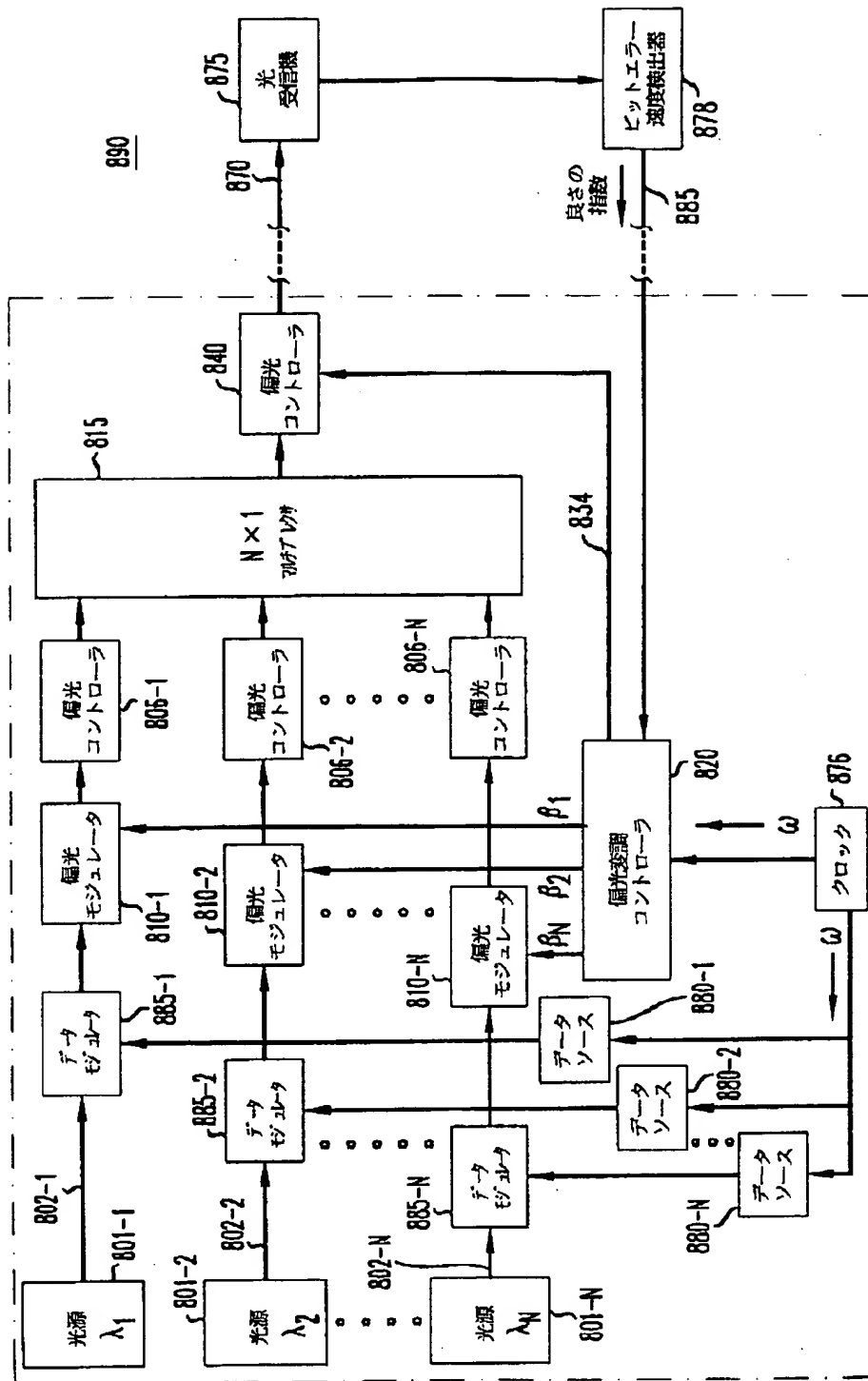
【図6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B	10/06			
	10/02			
	10/18			
(72)発明者	カール アール. ディヴィッドソン			
	アメリカ合衆国 07726 ニュージャージー			
	イ, マナラパン, ロス テラス 12			